

# 이동 애드혹 네트워크의 계층별 연구 동향

경북대학교 송점기\* · 배한석 · 정홍종 · 김동균

## 1. 서 론

이동 애드혹 네트워크(MANET)는 고정된 인프라가 없는 환경에서 제한된 전송 범위를 가지는 이동 노드들로 구성된 네트워크를 말한다. 이러한 이동 노드들은 데이터를 송수신하는 호스트로서의 역할뿐만 아니라 다른 노드들의 데이터를 중계(relay)하는 라우팅 기능도 수행한다.

이동 애드혹 네트워크의 연구 동향에 대해 간단히 살펴보면 물리 계층의 전파 간섭 및 전력 제어 문제에서부터 데이터 링크 계층의 다중 접속, 네트워크 계층의 라우팅, 전송 계층의 연결 설정 및 유지, 그리고 상위 계층인 응용에 이르는 각 계층별 연구뿐만 아니라 노드의 이동성 문제나 보안 분야에 이르기까지 넓은 범위에서 연구가 활발히 진행 중이다.

또한 1990년대 후반에는 IETF(Internet Engineering Task Force) 산하에 MANET(Mobile Ad-hoc NETWORKS) 워킹그룹[1]을 형성하여 이동 노드들간의 높은 통신 효율성을 제공하기 위한 라우팅 프로토콜에 대한 연구를 활발히 진행하여 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector), DSR(Dynamic Source Routing), OLSR(Optimized Link State Routing), TBRPF(Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding)가 라우팅 프로토콜로 표준화되었다.

본 고에서는 이동 애드혹 네트워크에서의 최근 연구 동향과 이와 관련된 여러 가지 이슈들에 관해 살펴본다. 2장에서는 MAC, 라우팅, 전송, 그리고 응용 계층별로 관련된 연구 동향에 대하여 기술하며, 3장에서는 이동 애드혹 네트워크와 관련된 이슈들에 대해서 살펴보고, 마지막으로 내용을 요약하며 결론을 맺도록 한다.

## 2. 애드혹 네트워크에서의 계층별 연구 동향

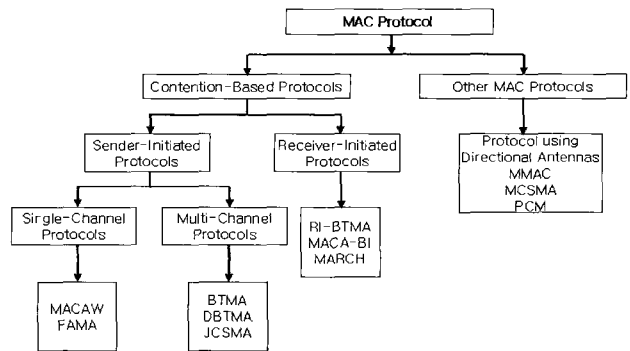
이 장에서는 이동 애드혹 네트워크에서 활발히 연구

가 진행 중인 MAC, 라우팅, 전송, 그리고 응용분야를 각 계층별로 나누어 살펴본다. 아래 표 1은 이동 애드혹 네트워크에서의 각 계층에 따른 연구 동향을 요약하고 있다.

표 1 MANET의 각 계층에 따른 연구 방향

계층	계층별 연구 방향
Application Layer	New/Killer Application, Network Auto-configuration, Location Services, Security(authentication, encryption)
Transport Layer	TCP Adaptation, Backoff Window Adaptation
Network Layer	IP Routing, Addressing, Optimization, Multicasting
Data Link Layer	Media access control, Error Correction, Optimization
Physical Layer	Spectrum usage/allocation

Energy-Conservation, QoS, Reliability, Scalability, Network, Simulation, Performance, Optimization



### 2.1 MAC 계층에서의 연구

이동 애드혹 네트워크에서의 MAC 프로토콜은 무선 매체를 이용해 여러 사용자가 동시에 데이터를 전송하는 상황이 발생할 수 있기 때문에, 동일한 채널을 공평하고 효율적으로 사용해야 한다. 기존에 제안된 애드혹 네트

\* 학생회원

워크에서의 MAC 프로토콜과 관련된 연구들은 애드혹 네트워크에서의 대표적인 문제인 숨은 터미널(hidden terminal) 문제와 노출 터미널(exposed terminal) 문제를 해결하는 방법에 관한 것이 대부분이었다. 그러나 최근에 제안되고 있는 MAC 프로토콜은 **다중 채널의 사용, 데이터 전송에서의 multi-rate 지원, 방향성 안테나(directional antenna)의 사용, 그리고 효율적인 전력 사용 방법** 등을 포함하고 있다. 그림 1은 애드혹 네트워크에서의 MAC 프로토콜을 분류한 것이다.

다중 채널 기법은 하나의 무선 매체에서 제어 프레임과 데이터 프레임을 함께 사용하는 단일 채널 기법과는 달리 하나의 제어 채널과 하나 이상의 데이터 채널로 구성된다. 먼저 단일 채널에 기반을 둔 방법으로는 FAMA, MACA, MACAW, MARCH 등이 있으며, 다중 채널 기법으로는 busy tone 신호로 숨은 터미널 문제를 해결하는 BTMA(Busy Tone Multiple Access), 두 개의 out-of-band 채널을 사용하는 DBTMA, 하나의 제어 채널과 여러 개의 데이터 채널을 사용하는 DCAPC(Dynamic Channel Assignment with Power Control) 등이 있다.

기존 IEEE 802.11에서 제안된 MAC은 항상 고정된 전력으로 송신을 하는데, 최근에는 RTS와 CTS를 최대 전력으로 전송을 하고 데이터는 송수신 거리에 따른 전력으로 보내는 방법을 제안하였다. 또한 위의 방법에서 전력 수준이 지나치게 낮아지는 경우에는 충돌이 발생할 수 있기 때문에, 단계적으로 전력 수준을 올려주는 방법 역시 제안되었다(2). DCA-PC의 경우 처음에는 최대 전력으로 전송을 하고 그로부터 적절한 전력을 계산하여 전송하는데 반해, DPC/ALP는 처음에 최소 전력으로 전송하고 송신자가 인지할 수 있을 때까지 점차 전력을 증가시켜 나간다.

IEEE 802.11 MAC 표준에서 물리 계층은 multi-rate 기능을 제공한다. 따라서 이동 애드혹 네트워크에서 multi-rate 기능을 활용할 경우 보다 높은 데이터율로 데이터 전송이 가능하다. 그러나 높은 SNR(Signal to Noise Ratio)이 요구되어 심각한 숨은 터미널 문제가 발생할 수 있다. 즉, 데이터율의 조절에 따른 높은 처리량을 얻을 수 있지만 RTS/CTS를 사용한 숨은 터미널을 제거하기가 더욱 어려워진다.

이동 애드혹 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 신호 간섭 영역을 감소시키고, 노출 터미널 문제로 인해 발생하는 공간 재사용(spatial reuse)율을 증가시키는 장점을 제공한다. 하지만 기존의 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 전방향 안테나(omni-directional anten-

na)를 고려하여 설계되었기 때문에 방향성 안테나를 사용할 경우 안테나의 장점을 얻지 못한다. 따라서 방향성 안테나의 특성을 고려하여 새로운 MAC 프로토콜을 설계하거나 기존의 MAC 프로토콜을 수정할 필요가 있다. 이러한 방향성 안테나를 사용하기 위해서는 먼저 이웃 노드의 위치를 파악해야 한다. 이웃 노드의 위치 정보는 GPS등을 사용하여 얻을 수 있으며, 위치 정보를 이용하여 RTS를 목적지 노드의 방향으로 전송하면 공간 재사용율을 높이는 방법도 제안되었다(3).

초기의 애드혹 네트워크의 MAC 프로토콜은 무선 매체를 효율적으로 사용하기 위해 지연(delay), 처리율(throughput), 공평성(fairness), 안정성(stability), 그리고 전력 소비(power consumption) 등의 요소에 대해 좋은 성능을 얻을 수 있도록 프로토콜이 설계되어 왔으나, 최근에는 이러한 기존의 연구와 더불어 다중 채널의 사용, 데이터 전송에서의 multi-rate 지원, 방향성 안테나의 사용, 그리고 효율적인 전력 사용 문제를 포함한 다양한 방향에서의 애드혹 네트워크가 갖는 노드의 이동성 문제나 제한된 에너지 사용 등과 같은 특징들을 고려한 연구도 활발히 진행 중이다.

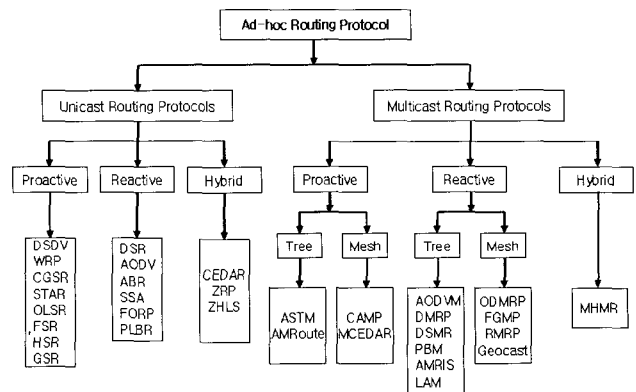


그림 2 애드혹 네트워크에서의 라우팅 프로토콜 분류

## 2.2 네트워크 계층에서의 라우팅 연구

애드혹 네트워크는 노드의 이동성, 제한된 대역폭, 노드의 제한된 에너지, 단방향 링크 등과 같은 특징을 가지고 있기 때문에 기존의 유선 네트워크에서의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용할 경우 많은 문제점이 따르게 된다. 이 장에서는 애드혹 네트워크의 연구가 시작된 이래 가장 많은 연구가 이루어져 온 유니캐스트(unicast) 라우팅과 멀티캐스트(multicast) 라우팅의 연구동향에 대해서 기술한다. 그림 2는 애드혹 네트워크에서 라우팅 프로토콜을 분류한 것이다.

### 2.2.1 유니캐스트 라우팅

애드혹 네트워크에서의 유니캐스트 라우팅 프로토콜

은 일반적으로 **사전 결정 방식 유니캐스트 라우팅 프로토콜(reactive unicast routing protocol)**과 **요구 기반 방식 유니캐스트 라우팅(reactive unicast routing protocol)**로 분류한다. 사전 결정 방식(reactive) 라우팅 프로토콜은 기존 유선 네트워크에서의 라우팅 프로토콜처럼 네트워크상의 모든 노드들의 주기적인 라우팅 정보의 교환을 통해 네트워크상의 모든 노드로의 경로를 사전에 유지한다. 사전 결정 방식 라우팅 프로토콜의 대표적인 방법은 분산 Bellman-Ford 라우팅 방식에 기반을 둔 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector), WRP(Wireless Routing Protocol)와 링크상태에 기반한 OLSR, TBRPF, FSR(Fisheye State Routing) 등이 있다.

이에 반해 요구 기반 방식 라우팅 프로토콜은 특정 노드로의 데이터 전송 요구가 발생하면, 경로 탐색 과정을 통해 목적지 노드로의 경로를 획득하는 방법이다. 요구 기반 방식 라우팅 프로토콜의 대표적인 방법은 AODV, DSR, TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm), ABR(Associativity-Based Routing) 등이 있다. 그리고 최근에 MANET 워킹그룹에서 인터넷 기고 서로 채택한 DYMO(Dynamic MANET On-demand Routing Protocol)도 이에 속한다. DYMO는 경로 탐색 과정에 중간 경로상의 노드들이 자신의 주소를 RE(Routing Element)에 포함시킴으로 인해 소스 노드와 목적지 노드는 서로 간의 경로를 라우팅 테이블에 유지할 뿐만 아니라 중간 경로상의 노드들도 라우팅 테이블에 유지할 수 있다.

하이브리드(hybrid) 라우팅 프로토콜은 위의 두 가지 방법을 접목한 방법으로 각각의 노드들은 자신을 중심으로 존(zone)을 구성하고 존 내부에는 사전 결정 방식 라우팅 방식을 사용하고 존 간에는 요구 기반 방식 라우팅 방식을 사용하는 ZRP(Zone Routing Protocol)가 이에 속한다.

앞에 기술한 방법들은 목적지 노드까지의 홉-거리에 기반을 두어 경로를 선택하는데, 단순히 홉-거리가 아닌 노드나 네트워크의 특성을 고려하는 방법들에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 노드의 지리적인 위치 정보를 이용하여 플러딩 오버헤드를 줄이는 LAR (Location-Aided Routing)[4], DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)[5], 경로의 안정성을 고려하여 경로를 탐색하는 SSR(Signal Stability-Based Adaptive Routing)[6], 노드들의 에너지 상태를 고려하여 경로를 탐색하는 APR(Alternate Path Routing), 경로를 선택하는데 있어 QoS를 기준으로 선택하는 CEDAR(Core-Extraction Distributed Ad-

hoc Routing) 등이 대표적이다. 이외에도 애드혹 네트워크에 인터넷 연결을 제공하기 위한 연구들도 활발히 진행되고 있으며 대표적인 방법으로는 Mobile IP와 애드혹 라우팅을 결합한 MIPMANET [7]이 있다.

또한 최근에는 앞서 설명한 방법들과는 달리 목적지 노드까지의 다중 경로를 유지함으로써 경로 단절에 대해 빠르게 복구할 수 있는 다중 경로 라우팅 프로토콜도 제안되고 있다. 다중 경로 라우팅 프로토콜의 대표적인 방법으로는 한 번의 경로 탐색 과정에서 서로 교차하지 않는 다중 경로를 탐색할 수 있는 AODVM(AODV-Multipath)이 있다[8].

### 2.2.2 멀티캐스트 라우팅

하나의 데이터를 동시에 멀티캐스트 그룹에 속해 있는 모든 노드들에게 전송하여 대역폭과 각 노드에서 발생하는 오버헤드를 줄이며, 수신자의 IP 주소를 알 필요가 없다는 점에서 멀티캐스트는 많은 장점을 갖는다. 이러한 멀티캐스트 기술을 이용하면 기존의 유선 네트워크 상에서 동작하는 실시간 스트리밍 서비스, 온라인 교육, 게임 등의 그룹 지향적인 응용들을 보다 유용하고 효과적으로 사용할 수 있다. 따라서 이러한 응용들을 이동 애드혹 네트워크에 적용하기 위해서는 애드혹 네트워크의 특성을 고려한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 설계가 이루어져야 한다.

현재까지 이동 애드혹 네트워크를 위한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜로는 전달하는 데이터의 발생과 관계없이 경로 설정을 하는 시점에 따라 전송 구조를 구성하는 사전 결정 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜과 데이터 발생에 의해 전달 구조를 구성하는 요구 기반 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜, 그리고 이런 방식을 접목한 하이브리드 멀티캐스트 라우팅 프로토콜로 분류할 수 있다.

또한 데이터 전송 형태에 따라 하나의 경로만을 이용하여 데이터가 전송되는 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(tree-based multicast routing protocols)과 다중 경로를 갖는 메쉬 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(mesh-based multicast routing protocols)로 나눌 수 있다. 트리 기반의 대표적인 프로토콜로는 Ad-hoc Multicast Routing(AMRoute)[9], AMRIS(Ad-hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id numbers)[10] 등이 있으며 메쉬 기반 방식의 대표적인 프로토콜로는 ODMRP(On Demand Multicast Routing Protocol)[11], CAMP(Core Assisted Mesh Protocol)[12] 등이 있다. 최근 연구 [13]에서, 메쉬 기반 프로토콜이 트리 기반의 프로토콜

보다 데이터 전송률이 높고, 데이터 패킷의 오버헤드는 낮은 결과를 보였다. 또한, 매쉬 기반 프로토콜 중에서는 ODMRP가 CAMP보다 노드의 이동성이 많은 경우에도 높은 데이터 전송률을 나타냈다. 이러한 매쉬 기반의 프로토콜을 이용할 경우에는 다중 경로를 통해 견고한 경로들을 제공할 수 있지만 자원의 비효율적 사용을 초래한다. 이와 달리 트리기반의 경우는 자원의 효율적 측면에서 장점은 있지만 트리의 중간 노드의 이동성에 많은 영향을 받게 된다.

멀티캐스트 라우팅 프로토콜과 관련해서 현재까지 제안되고 있던 방법들의 대부분은 노드의 이동성으로 인한 네트워크 토폴로지의 변화에 상관없이, 각 수신자들에게 효율적으로 데이터 전송을 위한 전송 구조를 구성하는 것에 초점이 맞추어져 제안되어왔다. 그러나 이러한 프로토콜들을 사용해 실제 응용을 적용하는 경우 이동 애드혹 네트워크의 특징인 노드의 이동성, 제한적인 에너지, 서비스 품질 등의 문제로 인해 여러 가지 문제가 야기된다.

따라서 최근에는 이러한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 대한 기존의 연구와 병행하여 멀티캐스트 확장에 대한 연구가 계속되고 있다. 구체적으로 이동 노드는 제한된 전력을 가진 배터리를 사용하기 때문에 멀티캐스트를 위한 전력 소비를 최적화해야 한다. 이러한 목적으로 제안된 방법으로는 E2MRP, E2CAMP 등이 있으며, 특히 EERBMP(Energy-Efficient Reliable Broadcast and Multicast Protocols)는 BIP(Broadcast Incremental Power), BLU(Broadcast Least Unicast), BLiMST(Broadcast Link-based Minimum Spanning Tree)의 세가지 알고리즘을 사용하여 에너지를 효율적으로 사용한다. 그룹 멤버들에게 서비스 질을 보장하는 방법으로 WARM, MPSP 등이 제안되었으며, 또한 안전한 통신을 제공하기 위해 멀티캐스트 프로토콜을 확장하는 방법으로는 [14, 15] 등이 제안되었다. 이러한 멀티캐스트 프로토콜의 확장은 현재 진행되고 있는 멀티캐스트 메커니즘을 실제 망에 적용하기 위하여 반드시 고려되어야 한다. 특히 그룹 통신을 위한 응용들의 관점에서 살펴 볼 경우 네트워크의 확장성, 멀티미디어 데이터 전송을 위한 QoS 보장, 무선 네트워크의 브로드캐스팅에 기반을 둔 데이터 전송으로 인한 보안 문제들은 향후 응용에서 반드시 고려되어야 하므로 이에 대한 프로토콜 확장은 필수적이다.

### 2.3 전송 계층에서의 연구

이동 애드혹 네트워크에서 응용 프로그램간의 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 하고 인터넷과의 자연스러운 접속을 가능하게 하기 위해서는 기존 인터넷에서 사

용되는 TCP의 수용이 바람직하다. 하지만 표준 TCP는 유선망에 기반을 두어서 설계되었기 때문에 이를 애드혹 네트워크에 적용할 경우에는 성능이 현저히 저하된다. 애드혹 네트워크에 기존 TCP를 적용할 경우에 발생하는 성능 저하의 요인으로는 높은 비트 오류(BER), 전송 범위(transmission range)와 신호 간섭 영역의 불일치, 잦은 경로 단절과 경로 변화, 네트워크 분리(partitioning)(그림 3), 다중 경로 사용으로 인한 OOO (Out-of-Order) 발생을 들 수 있다.

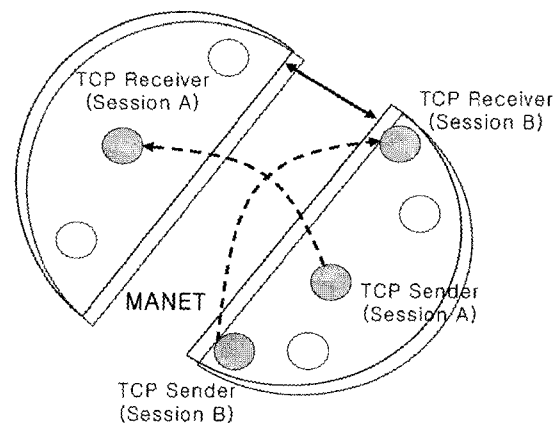


그림 3 노드의 이동에 따른 네트워크 분리

애드혹 네트워크에서 TCP의 성능 향상을 위한 방법들은 크게 링크 계층의 도움을 받는 방법, 네트워크 계층의 도움을 받는 방법, 그리고 TCP 프로토콜 자체에 수정을 하여 성능을 향상시키는 방법 등으로 나눌 수 있다.

첫 번째로 링크 계층에 수정을 가하여 TCP의 성능을 향상시키는 방법으로는 L-RED/Adaptive Pacing[16] 방법이 있다. 이 방법은 경로 상에 위치한 노드들간에 TCP 세그먼트 전송을 위해 MAC 계층의 불필요한 재전송 횟수를 줄이기 위한 L-RED 기법과 공간적인 채널 재사용을 높임으로 동시에 채널을 확보하려는 트래픽 수를 줄여 원활한 TCP 세그먼트 전송을 가능하게 하기 위한 adaptive pacing 기법으로 나뉜다. 이 외에도 애드혹 네트워크에서의 TCP의 공평성(fairness)을 향상시키기 위한 방법 등도 제안되었다.

두 번째로 네트워크 계층의 도움을 받는 방법으로는 TCP-Feedback[17]과 ELFN(Explicit Link Failure Notification), TCP-BuS(TCP with Buffering capability and Sequence Information)[18], Split TCP 방법이 있다. TCP-Feedback은 TCP 송신 노드가 경로 실패(route failure)와 망 혼잡(network congestion)을 중간 노드로부터의 경로 단절 메시지 수신을 통해 구별할 수 있게 하는 피드백 기반 방법이라 할

수 있다. ELFN 역시 이와 비슷한 방법이지만 경로 재설정 여부를 TCP-Feedback과는 달리 중간 노드로부터의 RRN(Route Re-establishment Notification) 메시지에 의존하기 보다는 송신 노드에서 주기적인 "probe" 메시지 전송에 의존한다는 차이점이 있다. TCP-BuS는 위의 두 가지 방법들과는 달리 경로 불연속을 탐지한 중간 노드가 경로 실패 탐지 직전까지 버퍼링하고 있는 TCP 세그먼트의 순서번호를 TCP 송신 노드에게 통보를 해주고 목적지 노드는 또한 경로 재설정 직후 TCP 송신 노드에게 ACK을 전송해 줌으로써 TCP 송신 노드 입장에서 재전송을 반드시 해야 하는 TCP 세그먼트와 지금 기존의 경로 상에 버퍼링 되어 목적지 노드로 전달되고 있는 TCP 세그먼트에 관한 순서번호를 알아 낼 수 있어 이에 따라 적절한 혼잡제어 방법을 동작시키는 방법이다. Split TCP는 홑의 수가 긴 TCP의 연결을 여러 개의 작은 존으로 분리시켜 지역적으로 혼잡제어를 수행하고, 종단간의 신뢰성은 표준 TCP와 같이 종단간의 ACK을 통해 제공함으로써, TCP의 성능을 향상시키는 방법이다.

세 번째로 TCP 프로토콜 자체에 수정을 하여 성능을 향상시키는 방법으로는 Fixed RTO[18], TCP-DOOR 방법이 있다. Fixed RTO 기법은 RTO로 인한 두개의 연속적인 재전송이 발생했을 경우, 경로 실패로 인한 것으로 가정을 하고 지수적 백오프(exponential backoff) 메커니즘을 비활성화시키며 재전송된 패킷에 해당하는 ACK이 성공적으로 수신될 때까지 RTO 값들을 동일한 값으로 사용하게 된다. 결국 경로 복구가 완료된 후에 RTO 값이 상대적으로 크지 않기 때문에 빠른 재전송을 수행할 수 있어 TCP 성능 감소를 줄일 수 있다. TCP-DOOR 방법은 중간 노드들로부터의 경로 실패 통보에 의존하지 않고 순서가 뒤바뀐 패킷을 목적지 노드가 감지했을 경우, 이는 노드 이동으로 인한 경로 재설정 과정 결과로 발생된 것으로 인식하고 목적지 노드는 ACK 메시지에 경로 실패로 인해 경로가 재설정되었다

표 2 각 TCP 방법들에 대한 계층별 수정 사항

종류 \ 계층	MAC	Network	Transport
L-RED/Adaptive Pacing	✓	×	×
Neighborhood RED	✓	×	×
TCP-Feedback	×	✓	✓
ELFN	×	✓	✓
TCP-BuS	×	✓	✓
Split TCP	×	✓	✓
Fixed RTO	×	×	✓
TCP-DOOR	×	×	✓
A-TCP	×	×	×

는 정보를 OOO 비트를 통해 piggybacking 시켜 송신 노드에게 알리는 방법이다.

그 외에 표준 TCP 프로토콜 자체에 아무런 수정을 하지 않고, 송신 노드의 TCP와 IP 계층 사이에 ATCP 계층을 삽입함으로써 TCP의 성능을 향상시키고자 하는 A-TCP[20]와, 애드혹용 전송프로토콜인 ATP등이 있다. 그리고 멀티스트리밍(multi-streaming)과 멀티호밍(multi-homing) 특성을 제공하는 SCTP(Stream Control Transmission Protocol)를 애드혹 네트워크에 적용하려는 연구가 최근 이슈가 되고 있다[21].

위의 표 2는 앞서 기술한 각 방법들에 대하여 수정이 요구되는 계층을 나타낸 것이다.

## 2.4 응용 계층에서의 연구

이동 애드혹 네트워크는 네트워크 특성에 의해 초기에는 군사적인 목적으로 활용되었으며, 현재까지 초기 응용 범위를 제외하고는 실생활에 적용하여 사용된 형태는 거의 찾아 볼 수 없다. 또한 이동 애드혹 네트워크는 기존의 고정된 유선망과 달리 노드들이 자유롭게 이동하기 때문에 토폴로지의 변화가 심하다. 따라서 기존의 유선망에서 동작하는 응용들을 애드혹 네트워크 상에 그대로 적용하기는 어렵다. 그러나 이들 응용들 가운데 P2P 모델로 개발된 경우에는 애드혹 네트워크와 유사한 점을 갖는다. 즉, P2P 응용들 역시 고정된 서버 없이 노드들 간에 네트워크를 형성할 수 있도록 설계되었다는 점이다. 이러한 유사점을 이용하여 애드혹 네트워크 상에서는 P2P 형태의 응용 개발이 가능하다. 이번 장에서는 이동 애드혹 네트워크에서의 P2P 응용개발을 위해 제안된 응용 및 플랫폼과 P2P 응용을 애드혹 네트워크에 적용하기 위한 검색 알고리즘에 대해 간단히 살펴본다.

MPP(Mobile Peer-to-Peer Protocol)는 애드혹 네트워크 상에서 P2P 오버레이(overlay) 네트워크 구축을 위해 새롭게 정의된 프로토콜이다. P2P와 이동 애드혹 네트워크는 서로 다른 계층에서 동작한다. 따라서 애드혹 네트워크에서 P2P 응용의 효율성을 증가시키기 위해서는 두 네트워크의 결합이 필요하다. 그러나 이 두 네트워크의 결합에 있어서, 여러 가지 문제점으로 인해 서비스 제공이 쉽지 않다. 따라서 MPP에서는 응용 계층의 오버레이 네트워크에서 동작하는 P2P 응용을 위해 각 계층별로 새롭게 프로토콜들을 정의하여 애드혹 네트워크와 P2P 네트워크를 혼합한 방식을 취했다

PROEM 역시 애드혹 네트워크 상에서 P2P 응용을 위한 개발 플랫폼으로, 크게 PROEM 실행시간 시스템과 Peerlet 개발 도구로 두 개의 컴포넌트로 구성된다. PROEM은 각 계층별로 새로운 프로토콜을 정의한 MPP

와 다르게, 오버레이 네트워크 상에서 각 피어들의 기능에 따라 프로토콜을 정의한다. 그림 4에서 presence, data, community 프로토콜들이 오버레이 네트워크를 구성하는 P2P 응용의 기능에 따라 설계되었으며 응용 개발에 필요한 API나 실행시간 엔진을 제공한다.

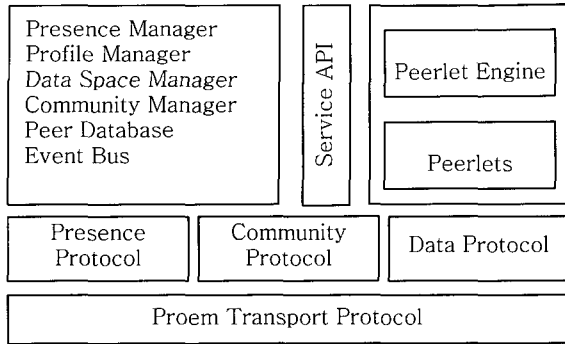


그림 4 PROEM 프로토콜 구조

또한 이동 애드혹 네트워크 상에서의 응용 개발을 위한 연구과정에서 Microsoft .NET Compact Framework와 DSR 프로토콜을 이용하여 애드혹 네트워크 상에서 인스턴스 메시지를 설계하고 구현했다[22]. 그리고 국내에서는 ETRI가 IPv6 기반의 애드혹 네트워크에 적합한 응용인 DiPP(fully Distributed Peer-to-Peer) 시스템을 개발하였다. DiPP 시스템은 완전 분산형 구조의 P2P 응용으로, 기능은 크게 AODV상에서의 메시지 기능과 P2P 방식의 파일 공유 기능을 갖는다.

ORION(Optimized Routing Independent Overlay Network) 검색 알고리즘은 이동 애드혹 네트워크 상에서의 키워드 기반의 파일 검색 알고리즘이다. ORION은 애드혹 네트워크 상에서 효과적인 파일 검색을 위하여 응용 계층의 질의 메시지와 네트워크 계층의 경로 검색 질의 메시지를 통합하여 두 개의 라우팅 테이블(경로 라우팅 테이블, 파일 라우팅 테이블)을 관리한다. 경로 라우팅 테이블은 AODV의 라우팅 테이블과 유사한 구조이며, 파일 라우팅 테이블은 원하는 파일에 대한 경로 정보를 유지한다. 이 방식은 단순한 플러딩에 의해 발생하는 네트워크 트래픽의 부하를 줄이며, 정확한 파일 검색을 통해 데이터 전송에 신뢰성을 향상시킨다.

분산해쉬테이블(DHT) 기반의 오버레이 네트워크는 파일과 그 파일을 해쉬함수에 적용하여 얻어지는 키 값을 사용하여 검색을 위한 테이블을 형성하여 네트워크를 구성한다. 그누텔라의 경우 질의 메시지를 던지는 과정에서 네트워크에 참여하고 있는 많은 노드들이 반복적으로 같은 질의 메시지를 전송하게 되어, 이로 인한 네트워크의 부하가 심해지는 문제점이 발생할 수 있다. 그리

고 검색의 결과에 대한 신뢰도가 떨어지는 문제점도 유발한다. 이와 달리 DHT는 위의 문제점을 바탕으로 검색의 효율성과 신뢰성을 향상시킨다. 즉, 네트워크에 참여한 피어들은 네트워크 전체 파일 정보들을 분산하여 저장하고, 검색을 수행할 때는 파일에 해당하는 키 값을 바탕으로 질의 메시지를 보내 검색 과정을 수행한다. 또한 DHT 기반으로 P2P 네트워크를 구성하는 방법 중 하나로 MIT에서 제안한 Chord가 있다.

### 3. 애드혹 네트워크에서의 관련 이슈들

이동 애드혹 네트워크는 계층별로 최근까지 많은 연구가 이루어졌으나, IP 주소할당 문제나 에너지 문제, 보안 등 실제 애드혹 네트워크에 응용을 실행하기 위해서 해결해야 할 여러 가지 기술적 문제들이 남아 있다.

첫 번째로, 주소 자동 설정 기능은 이동 노드에게 고유한 IP 주소를 할당하기 위한 자동화된 기법으로 노드들 간에 정확한 데이터 전송을 제공하여 통신 효율성을 높인다. 기존 유선 환경에서의 주소 자동 설정 기능은 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) 방식의 주소 할당 서버에 의해 할당된다. 그러나 DHCP 방식은 유선 네트워크 기반의 주소 할당 방식이기 때문에 이동 애드혹 네트워크에 그대로 적용하기는 어렵다.

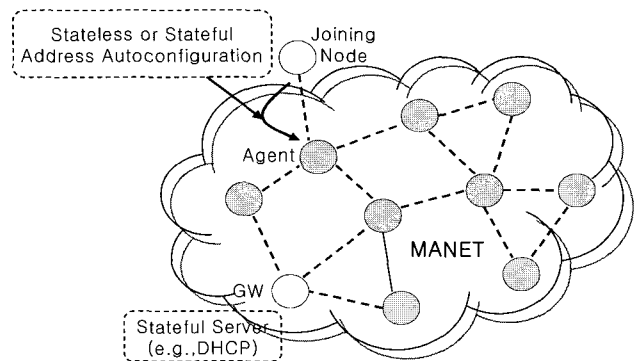


그림 5 MANET에서의 주소 자동 기법

그림 5는 애드혹 네트워크에서의 주소 자동 기법을 나타낸 그림이다. 주소 자동 기법은 통신 모델에 따라 두 가지로 분류될 수 있다. 하나는 중앙 집중형 방법(stateful address autoconfiguration)이고 다른 하나는 분산형 방법(stateless address autoconfiguration)이다.

초기에는 서버 노드의 부담을 분산하는 측면에서, 주소 요청(Address REQuest, AREQ)과 주소 응답(Address REPLY, AREP) 메시지를 이용한 분산 주소 자동 설정 방법인 강력한 중복 주소 검색(strong duplicated address detection) 방법을 이용한다[23].

이 방법은 새롭게 네트워크에 진입하는 노드와 기존의 네트워크 상에서 존재하는 노드와 통신하기 위해, 사용하는 임시주소의 충돌 문제나 네트워크 분리 및 통합에 대한 해결책을 제시하지 않았다.

최근에는 초기에 연구된 방법들에 대해서 보완하는 방안들이 제안되었다. MANETconf[24]는 분산 동의(distributed agreement) 개념을 이용하여 에이전트 기반 분산 주소 자동 설정 방법을 제안했다. 또한 인터넷을 비롯한, 기존 네트워크와 연결이 공존하는 하이브리드 애드혹 네트워크 환경에서의 전역 주소를 할당받는 방법에 대한 연구 역시 활발히 이루어지고 있다.

두 번째로, 이동 애드혹 네트워크를 구성하는 이동 노드들은 에너지가 제한된 배터리를 사용하기 때문에 각 노드들의 에너지 소모는 전체 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 따라서 애드혹 네트워크에서 효율적인 에너지 관리 문제는 무엇보다 중요하다. 만일 이동 노드들이 불필요하게 자주 데이터를 중계하게 되면 전력 소모량이 많이 발생하게 되며 이러한 노드가 동작을 멈추게 되면, 결국 멀티 홉 방식으로 동작하는 애드혹 네트워크의 특성상 데이터 손실이 많이 발생하여 네트워크의 성능 저하를 가져온다. 따라서 애드혹 네트워크에서 이동 노드의 전력 소모량을 줄여 전체 네트워크의 수명을 늘이기 위해 데이터 링크, 네트워크, 그리고 응용 계층에서의 효율적인 에너지 관리에 대한 연구가 필요하다.

효율적인 에너지 관리를 위한 데이터 링크 계층에서는 전력 제어(PCM: Power Control MAC) 프로토콜을 사용하는 방법 등이 제안되었고, 라우팅 기술로서는 에너지 기반 부하 분담 라우팅(energy-aware load balancing)[25]이 있다. 라우팅의 경우 특정 노드들에게 집중되는 트래픽을 분산시켜 특정 노드의 에너지 소모를 줄이는 방식으로 라우팅 과정이 수행되어야 하며, 애드혹 네트워크에서 동작하는 응용 역시 성능 향상을 위해 전송하는 메시지의 수를 늘이기 보다는 남은 전력량을 고려하여 메시지의 전송이 이루어져 한다.

세 번째로, 애드혹 네트워크는 현재 보안 문제(표 3)와 관련해 네트워크에 참여하는 노드들 간의 신뢰성을 제공하지 못하는 취약점을 가지고 있다. 특히 무선 인터페이스를 이용하기 때문에 유선 네트워크와 비교해 더 강력한 보안성을 요구한다. 이러한 보안 문제를 해결하여 네트워크를 안전하게 사용하기 위해 공개키 분배나 인증 프로토콜 등을 사용하는 여러 방안들이 제안되고 있지만, 다양한 상황에 즉각적으로 대응할 수 있는 충분한 보안 해결책을 제시하지는 못하고 있다. 그리고 애드혹 네트워크의 특징인 분산된 환경에서 동작하는 응용일

경우 인증 서버를 두는 것 역시 위험하다. 그 이유는 인증 서버가 악의적인 노드에 의해 공격을 당했을 경우, 네트워크를 구성하는 모든 노드에 대한 정보가 유출될 수 있기 때문이다. 또한 멀티 홉 방식에 의한 데이터 전송은 다른 노드들에게 잘못된 정보를 제공하여 시스템에 장애를 유발할 수 있다.

애드혹 네트워크에서의 보안 위협은 네트워크 외부에서의 공격뿐만 아니라, 네트워크 내부의 공격에 대해서도 노출되어 있다. 네트워크에 참여한 노드가 악의적인 의도로 신분위장(masquerade), 재전송(replay), 메시지 수정(modification of messages), 서비스 거부(Denial of Service) 등의 적극적 공격을 한다면 이를 완벽하게 차단한다는 것은 불가능하다. 결국 이러한 적극적 공격에 대해서는 공격을 발견하고 그에 따른 피해를 복구해야 한다.

따라서 이동 애드혹 네트워크에서의 보안 목표는 시스템의 적절한 보안뿐만 아니라 데이터 전송의 보안을 보장할 수 있는 서비스를 제공하는 것이다. 또한 동적으로 구성된 네트워크상의 노드들은 높은 이동성을 충분히 고려하여 즉각적으로 적용할 수 있는 구조로 연구되어야 한다.

표 3 MANET에서의 공격 형태에 따른 제안된 방법

공격 형태	공격 계층	제안된 방법
Jamming	Physical and MAC layers	FHSS, DSSS
Routing Attacks	Network layer	SEAD, ARAN, ARIADNE
Repudiation	Application layer	ARAN
Denial of Service	Multi-layer	SEAD, ARIADNE
Impersonation	Multi-layer	ARAN

마지막으로 현재 이동 애드혹 네트워크와 관련해선 진행 중인 표준화 동향에 대해 간단히 살펴본다.

이동 애드혹 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 IETF의 MANET 워킹그룹을 중심으로 표준화 활동이 진행되고 있다. 90년대 후반 MANET 워킹그룹이 형성된 이후로 현재까지 AODV, OLSR, TBRPF 라우팅 프로토콜이 RFC로 표준화가 진행되었고, 현재 DSR과 DYMO 라우팅 프로토콜의 표준화를 진행 중이다. 그리고 2005년 2월 1일부터 수정된 MANET 워킹그룹의 charter에서는 MANET 라우팅 프로토콜의 표준을 크게 Reactive MANET Protocol(RMP)과 Proactive MANET Protocol(PMP)의 두 가지 표준 트랙으로 분류하고 있다.

최근까지 워킹그룹에서 주로 다루었던 주제는 애드혹

네트워크에서의 라우팅 프로토콜과 관련된 부분으로 한정되었지만, 앞으로는 라우팅 이외에 다른 부분의 표준화 활동 역시 활발히 진행될 예정이다. 한 예로 이동 애드혹 네트워크와 인터넷 간의 연결성 지원이나 애드혹 네트워크에서의 이동 노드들 간의 통신 문제의 경우, 통신 성립 이전에 이동 노드에게 고유한 IP 주소가 할당되어야 한다. 특히 애드혹 네트워크는 기존 유선 네트워크에서 사용되는 DHCP 방식의 주소 할당 방법을 사용할 수 없으며 다수의 애드혹 네트워크가 합병할 경우, 주소 중복 문제가 발생한다. 이러한 문제의 중요성이 부각됨에 따라, 앞서 언급한 문제들에 관해 논의하고 그 해결 방법을 표준화하기 위해 애드혹 네트워크 Autoconfiguration(Autoconf) BOF가 결성이 되었다.

또한 워킹그룹의 향후 개발 방향 중 하나는 일정한 범위의 애드혹 네트워크상의 노드들 간에 데이터 패킷을 효율적으로 포워딩하기 위한 것이다. 이에 따라 현재까지 표준화가 진행되지 않았던 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들의 표준화 역시 활발히 진행될 것으로 기대된다.

#### 4. 요약 및 결론

최근에 이동 애드혹 네트워크의 중요성이 증대하고 있으며 향후 더 많은 사용자들이 이동 애드혹 네트워크에 접근할 것으로 예상된다. 이는 이동 애드혹 네트워크가 더 이상 단일의 독립적인 네트워크로서 기능을 수행할 뿐만 아니라 기존 인프라 기술과 접목하여 유비쿼터스 네트워크 구축이 가능하기 때문이다. 따라서 최근 애드혹 네트워크의 연구 동향을 살펴보면 확장성을 고려하여 노드의 이동성 및 에너지 등에 대한 연구뿐만 아니라 애드혹 네트워크에서의 주소 자동 할당 기술이나 보안, QoS, 서비스 검색 등으로 그 범위를 넓혀가고 있다.

이동 애드혹 네트워크의 계층별 연구 동향에 대해 간단히 정리하면 MAC 프로토콜은 다중 채널의 사용, 데이터 전송에서의 multi-rate 지원, 방향성 안테나의 사용, 그리고 효율적인 전력 사용 문제 등을 포함하여 현재 연구가 진행되고 있으며, 라우팅의 경우 유니캐스트 라우팅과 멀티캐스트 라우팅으로 분류하여 살펴봤다. 유니캐스트 라우팅의 경우 애드혹 네트워크에 인터넷 연결을 제공하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 멀티캐스트 경우는 전력 소비를 최적화하거나 그룹 멤버들에게 서비스 질을 보장하는 방법 외에도 안전한 통신을 제공하기 위한 멀티캐스트 프로토콜의 확장하는 방향으로 연구가 이루어지고 있다.

또한 애드혹 네트워크에서 TCP의 성능 향상을 위한 방법들은 크게 링크 계층의 도움을 받는 방법, 네트워크 계층의 도움을 받는 방법, 그리고 TCP 프로토콜 자체에

수정을 하여 성능을 향상시키는 방법으로 나누어 살펴봤다. 상위 응용 계층에서는 P2P 응용 개발을 위해 제안된 플랫폼 및 응용과 애드혹 네트워크에 적용하기 위한 P2P 검색 알고리즘에 대해 간단히 살펴봤다.

이동 애드혹 네트워크는 계층별로 최근까지 많은 연구가 이루어졌으나 아직까지 IP 주소할당 문제나 에너지 문제, 보안, QoS 및 서비스 검색 등의 해결해야 할 여러 가지 기술적 문제들을 안고 있다. 그러나 이러한 문제들과 관련해서 지속적인 연구가 진행되고 있으며, 따라서 이에 대한 해결책이 곧 제안될 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] <http://www.ietf.org/html/charters/manet-charter.html>
- [2] J. Monks et al., "A Study of the Energy Saving and Capacity Improvement Potential of Power Control in Multi-Hop Wireless Networks," In Proceedings of IEEE LCN, 2001.
- [3] Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks," In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2000.
- [4] Y. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad-hoc Networks," In Proceedings of ACM MOBICOM, 1998.
- [5] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," In Proceedings of ACM MOBICOM, 1998.
- [6] R. Dube, C. D. Rais, K. Wang, and S. K. Tripathi, "Signal Stability based Adaptive Routing for Ad Hoc Mobile Networks," IEEE Personal Communication Magazine, pp.36-45, 1997.
- [7] U. Jonsson, F. Alriksson, T. Larsson, P. Johansson, and G. Q. Maguire Jr., "MIPMANET-Mobile IP for Mobile ad-hoc Networks," In Proceedings of ACM MOBIHOC, 2000.
- [8] Z. Ye, S. V. Krishnamurthy and S. K. Tripathi, "A Framework for Reliable Routing in Mobile Ad Hoc Networks," In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2003.



- [9] E. Bommaiah, M. Liu, A. McAuley, and R. Talpade, "AMRoute: Ad-hoc Multicast Routing Protocol," draft-talpade-manet-amroute-00.txt, 1998
- [10] C. Wu and Y. Tay, "AMRIS: A Multicast Protocol for Ad-hoc Wireless Networks," In Proceedings of IEEE MILCOM, 1999.
- [11] C. Chiang and M. Gerla, "On-demand Multicast in Mobile Wireless Networks," In Proceedings of IEEE ICNP, 1998.
- [12] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E. Madruga, "A Multicast Routing Protocol for Ad-hoc Networks," In Proceedings of IEEE INFOCOM, 1999.
- [13] S. Lee, W. Su, M. Gerla, and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols," In Proceeding of IEEE INFOCOM, 2000.
- [14] G. Lin and G. Noubir, "Secure Multicast over Multihop Wireless Ad-hoc Networks," In Proceedings of Mobile Ad-hoc Networks Workshop(MADNET), 2003.
- [15] L. Lazos and R. Poovendran, "Energy-Aware Secure Multicast Communication in Ad-hoc Networks Using Geographical Location Information," In Proceedings of IEEE ICASSP, 2003.
- [16] Z. Fu, et al., "The Impact of Multihop Wireless Channel on TCP Through and Loss," In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2003.
- [17] K. Chandran et. al., "A Feedback-based scheme for improving TCP Performance in ad hoc wireless networks," IEEE Personal Communication Magazine, pp.34-39, 2001.
- [18] D. Kim, C.-K. Toh, and Y. Choi, "TCP-BuS : Improving TCP Performance in Wireless Ad Hoc Networks," Journal of Communications and Networks, Vol. 3, No. 2, 2001.
- [19] T. D. Dyer and R. V. Boppana, "A Comparison of TCP Performance over three routing protocols for Mobile Ad Hoc Networks," In Proceedings of ACM MOBIHOC, 2001.
- [20] S. V. Anantharaman, H.-Y. Hsieh, and R. Sivakumar, "ATP: A Reliable Transport Protocol for Ad-hoc Networks," In Proceedings of ACM MOBIHOC, 2003.
- [21] A. Argyriou and V. Madiseti, "Performance evaluation and optimization and SCTP in wireless ad-hoc networks," In Proceedings of IEEE LCN, 2003.
- [22] <http://people.cs.vt.edu/~irchen/Microsoft-grant/description.html>
- [23] C. Perkins et al., "IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks," draft-ietf-manet-autoconf-01.txt, 2001.
- [24] S. Nesargi and R. Prakash, "MANETconf: Configuration of Hosts in a Mobile Ad-hoc Network," In Proceedings of IEEE INFOCOM, 2002.
- [25] C. Gui and P. Mohapatra, "SHORT: Self-Healing and Optimizing Routing Techniques for Mobile Ad-hoc Networks," In Proceedings of ACM MOBIHOC, 2003.

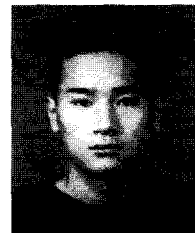
---

#### 송 점 기



2004 동서대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2004~현재 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
 관심분야 : Mobile Ad Hoc Network, P2P,  
 MANET에서의 자동네트워킹 기술  
 E-mail : jksong@monet.knu.ac.kr

#### 배 한 석

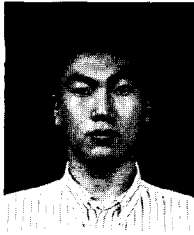


2003 경일대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2003. 9~현재 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
 관심분야 : Mobile Ad Hoc Network, TCP  
 over MANET, SCTP  
 E-mail : bae@monet.knu.ac.kr

---

---

정 흥 중



2004 경북대학교 컴퓨터공학과(학사)  
2004~현재 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
관심분야 : Mobile Ad Hoc Network,  
P2P, 센서 네트워크  
E-mail : hjjeong@monet.knu.ac.kr

김 동 균



1994 경북대학교 컴퓨터공학과(학사)  
1996 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
2001 서울대학교 전기·컴퓨터공학부(공학박사)  
1999 미국 Georgia Institute of Technology, 방문 연구원  
2002 미국 University of California at Santa Cruz, Post-Doc. 연구원  
2003~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 조교수

관심분야 : 이동인터넷, 초고속 인터넷, Mobile Ad Hoc Network, 무선 LAN 등  
E-mail : dongkyun@knu.ac.kr

---

16th Annual Symposium on Combinatorial  
Pattern Matching(CPM 2005)

- 일 자 : 2005년 6월 19~22일
- 장 소 : 제주도
- 주 최 : 컴퓨터이론연구회
- 내 용 : 논문발표 등
- 상세안내 : <http://theory.snu.ac.kr/cpm2005/>